



Enhancing the Luminosity of Two-Dimensional Organic-Inorganic Hybrids with Coating by Gold and Platinum Thin Films at Low Temperatures

Zohreh Abbaskhani ¹, Soghra Mirershadi ^{2*}, Farhad Sattari ³

¹ M. Sc., Department of Physics, Faculty of Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Ardabil, Iran

² Associate Professor, Department of Engineering Sciences, Faculty of Advanced Technologies, University of Mohaghegh Ardabili, Namin, Ardabil, Iran

³ Associate Professor, Department of Physics, Faculty of Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Ardabil, Iran

*Corresponding Author's Email: s.mirershadi@uma.ac.ir (S. Mirershadi)

Paper History:

Received: 2022-10-10

Revised in revised form: 2022-12-07

Scientific Accepted: 2022-12-20

Keywords:

Two-Dimensional Organic-Inorganic Hybrid,

Luminescence,

Gold and Platinum Thin Film,

Low Temperature

Abstract In this paper, two-dimensional organic-inorganic hybrid structures with the general formulas of $(BA)_2PbI_4$ and $(PEA)_2PbI_4$ as the luminescent materials are experimentally investigated. The luminosity properties of these organic-inorganic hybrid structures are also examined in the absence and presence of coating with thin layers of gold and platinum of 20 nm in thickness at different temperatures ranging from the room temperature to about 106 K under excitation by a light source with the wavelength of approximately 400 nm. According to the observations, illumination in the case of the $(BA)_2PbI_4$ structure at 120 K can be enhanced by 12.9 times the illumination at room temperature. In addition, illumination in the case of the $(PEA)_2PbI_4$ structure coated with a 20 nm thick platinum layer at 173 K can be enhanced 12.2 times the illumination at room temperature. These results suggest that two-dimensional organic-inorganic hybrid structures (especially $(BA)_2PbI_4$ and $(PEA)_2PbI_4$ structures) can be useful for the design of novel electronics and optoelectronics devices.



<https://doi.org/10.30501/jamt.2023.364404.1247>

URL: https://www.jamt.ir/article_169645.html

1. INTRODUCTION

Organolead-halide-perovskites are the most promising next-generation solar cell materials owing to their superior properties such as broad spectral absorption range, high absorption coefficient, high carrier mobility, long diffusion length, and relatively long carrier lifetime, to name a few [1]. However, up to now, the instability of the Organolead-halide-perovskites against moisture, heat, and ultraviolet exposure have remained the major obstacles in the commercialization of this technology [2]. To date, remarkable efforts have been made to improve the weak stability of devices made of perovskite materials [3]. One of the effective strategies for the stability enhancement with regard to the ambient environment is that of lowering the dimensionality of the perovskites from the 3D to 2D [4]. For this purpose, replacing the widely used methylammonium cation with long-chain organic cations in the perovskite crystal is an effective method to enhance the intrinsic stability of the perovskite materials. The general formula for the 2D layered perovskite materials is $(RNH_3)_2A_{n-1}M_nX_{3n+1}$, where RNH_3 is a primary aliphatic or aromatic alkylammonium cation, A a monovalent organic cation, M a divalent metal, and X a halide anion. It should be noted that Phenethylamine (PEA) was first used as a large-chain organic cation to improve the device stability. Layered perovskites possess a system of

multiple quantum wells in which the organic cations and inorganic layers act as the barriers and wells, respectively. Typically, in contrast to the metal halide, the organic cation has a low dielectric constant. More importantly, confining the halide perovskites in a 2D geometry provides opportunities to further tune the band gap, transport properties, charge carrier dynamics, chemical stability, etc. [5]. The current study introduced a novel 2D Layered Organic-Inorganic hybrids as a very promising emitter with good efficiency and excellent photostability to be used as luminophore. First, $(C_4H_9NH_3)_2PbI_4$ and $(C_6H_5(CH_2)_2NH_3)_2PbI_4$, as the 2D layered hybrids, were synthesized through a facile solvothermal method (abbreviated as $(BA)_2PbI_4$ and $(PEA)_2PbI_4$). Then, the plasmonic effect of gold and platinum nanoparticles on the luminosity enhancement of 2D layered hybrids was evaluated, and the relationship between the enhancement factor and temperature reduction was studied.

2. MATERIALS AND METHODS

2D layered organic-inorganic hybrids precursor with different organic cations ($(C_4H_9NH_3)_2PbI_4$ and $(C_6H_5(CH_2)_2NH_3)_2PbI_4$) were prepared using solution chemistry method. Generally, the synthesis process has two steps: synthesis of the ammonium salts and preparation of the organic-inorganic hybrid solution. To

Please cite this article as: Abbaskhani, Z., Mirershadi, S., Sattari, F., "Enhancing the luminosity of two-dimensional organic-inorganic hybrids with coating by gold and platinum thin films at low temperatures", *Journal of Advanced Materials and Technologies (JAMT)*, Vol. 11, No. 4, (2023), 19-29. (<https://doi.org/10.30501/jamt.2023.364404.1247>).



be specific, $C_4H_9NH_3I$ was first prepared by the reaction of Butylamine ($C_4H_9NH_2$, 99.5 %, Sigma Aldrich) with a stoichiometric amount of hydroiodic (HI, 57 %, Merck) - aqueous solution in a chilled glass bottle at 0 °C to remove the reaction heat. In this step, the $C_4H_9NH_3I$ ammonium salt is mixed with lead halide PbI_2 in the stoichiometric amount 6:1. All materials were used without any further purification. Each product was kept for 24 h at room temperature on a watch glass. Once the reactions were complete, the products were dried in a vacuum box at 70 °C for 4 h. Other 2D layered organic-inorganic hybrids, $(C_6H_5(CH_2)_2NH_3)_2PbI_4$ were synthesized using a similar process as that for $(C_4H_9NH_3)_2PbI_4$, except for Phenethylamine ($C_6H_5(CH_2)_2NH_2$, 99 %, Sigma Aldrich) was used as the organic cation instead of Butylamine.

In the next step, a thin luminescent film was fabricated by dispersing the 2D layered organic-inorganic hybrids as the fluorophore in a Dimethyl sulfoxide (DMSO, Merck). Followed by the evaporation of the solvent, a thin layer was deposited on a 35×15 mm glass substrate using the doctor blade technique. Next, layers of gold and platinum with the thickness of 20 nm were created by sputtering on the thin layers of 2D organic-inorganic hybrid materials studied in this research. Moreover, temperature-dependent photoluminescence spectra are obtained using a 400 nm laser diode, and a fiber spectrometer model Aurora 4000 is used for spectra

detection. To cool down the hybrid and control its temperature, liquid nitrogen is used.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Figure 1 compares the typical X-Ray Diffraction (XRD) patterns of $(C_4H_9NH_3)_2PbI_4$ and $(C_6H_5(CH_2)_2NH_3)_2PbI_4$ hybrids (abbreviated as $(BA)_2PbI_4$ and $(PEA)_2PbI_4$). The plate-like ‘layered’ organic-inorganic hybrids were confirmed, by the XRD pattern, to be a 2D layered hybrid that was formed due to the incorporation of the BA or PEA cations into the precursor solutions. The crystal structure of the obtained 2D hybrids was also investigated, and the peaks were attributed to the scattering from (002), (004), (006), (008), (0010), and (0012) crystal planes of the 2D layered Organic-Inorganic hybrids [6].

The SEM micrographs of the $(BA)_2PbI_4$ 2D layered organic-inorganic hybrids are illustrated in Figure 2, showing a relatively uniform shape and size distribution of the nanoparticles. The nanoparticles exhibit both small mean size of 15.

Figure 3 shows the temperature-dependent PL spectra from 173 K to 298 K of the $(PEA)_2PbI_4$ organic-inorganic hybrids coated with a thin layer of platinum with the thickness of 20 nm.

Followed by reducing the temperature from the room temperature to 173 K, the amount of photoluminescence increase reached the significant amount of 12.2 times.

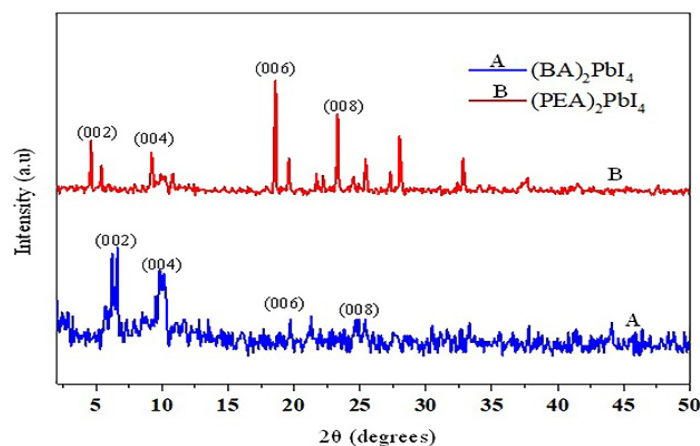


Figure 1. X-Ray diffraction pattern of (A): $(BA)_2PbI_4$, and (B): $(PEA)_2PbI_4$

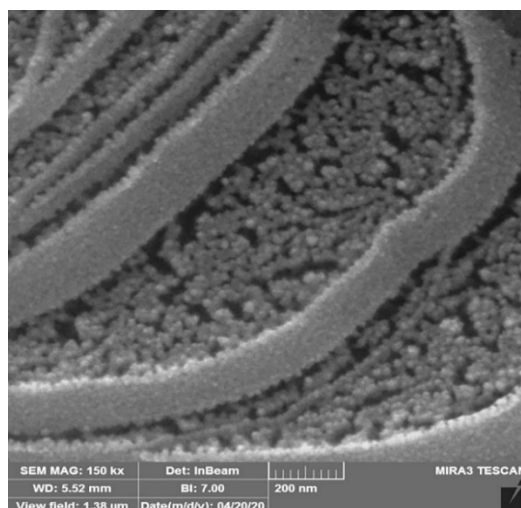


Figure 2. SEM image of $(BA)_2PbI_4$ nanoparticles

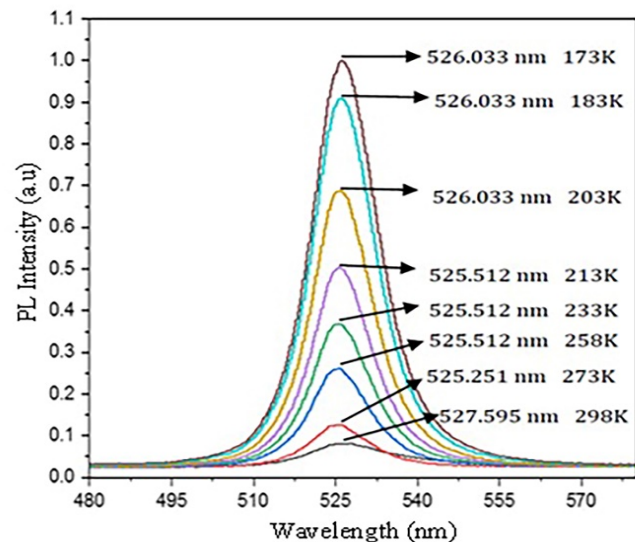


Figure 3. Temperature-dependent PL spectra of the (PEA)₂PbI₄ coated with 20 nm platinum

4. CONCLUSION

This research investigates the photoluminescence of the two-dimensional organic-inorganic hybrid materials (BA)₂PbI₄ and (PEA)₂PbI₄ with and without coating by thin layers of gold and platinum with the thickness of 20 nm in the temperature range of room temperature to lower temperatures. According to the observations, the highest level of photoluminescence enhancement in both structures was achieved at low temperature by coating with a thin layer of platinum with the thickness of 20 nm.

5. ACKNOWLEDGEMENT

The authors would like to express their gratitude to the University of Mohaghegh Ardabili for their cooperation and support.

REFERENCES

1. Safarzadeh, Z., Abdollahzadeh, F., Mirershadi, S., Sattari, F., "Study of band gap in 2D and 3D organic-inorganic hybrids", *The*

14th Condensed Matter Conference of Iranian Physics Society, Sahid Chamran University, (2017), 408-411. <https://www.psi.ir/upload/1397/cmc14/pages/proceedings/P66.pdf>

2. Hanamura, E., Nagaoka N., Kumagai, M., Takagahara, T., "Quantum wells with enhanced exciton effects and optical non-linearity", *Journal of Materials Science Engineering: B*, Vol. 1, No. 3-4, (1988), 255-258. [https://doi.org/10.1016/0921-5107\(88\)90006-2](https://doi.org/10.1016/0921-5107(88)90006-2)
3. Ishihara, T., Takahashi, J., Goto, T., "Optical properties due to electronic transitions in two-dimensional semiconductors (C_nH_{2n+1}NH₃)₂PbI₄", *Physical Review B*, Vol. 42, No. 17, (1990), 11099-11107. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.42.11099>
4. Zehtabchi, I., Ghayour, H., Zendehehdel, M., "Optimization of parameters from perovskite solar cells by ZnO aligned nanorods", *Journal of Advanced Materials and Technologies (JAMT)*, Vol. 4, No. 3, (2015), 53-64. <https://doi.org/10.30501/jamt.2637.70308>
5. Peng, B., Li, L., Li, Q., Loh, K. P., Li, Y., "Spin-valley locking effect in defect states of monolayer MoS₂", *RSC Advances*, Vol. 30, (2017), 2129-2136. <https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.0c00138>
6. Shekari, M. R., Sadeghzadeh, S. M., Golriz, M., "Study of long-term stability of perovskite solar cells: Highly stable carbon-based versus unstable gold-based PSCs", *Journal of Renewable Energy and Environment (JREE)*, Vol. 8, No. 2, (2021), 61-73. <https://doi.org/10.30501/jree.2021.240562.1132>



مقاله کامل پژوهشی

تقویت نورزایی هیبریدهای آلی - معدنی دوبعدی با پوشش‌دهی توسط لایه‌های نازک طلا و پلاتین در دمای پایین

زهره عباسخانی^۱، صغری میرارشادی^{۲*}، فرهاد ستاری^۳

^۱ کارشناس ارشد، گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، اردبیل، ایران

^۲ دانشیار، گروه علوم مهندسی، دانشکده فناوری‌های نوین، دانشگاه محقق اردبیلی، نمین، اردبیل، ایران

^۳ دانشیار، گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، اردبیل، ایران

تاریخچه مقاله:

ثبت اولیه: ۱۴۰۱/۰۷/۱۸

دریافت نسخه اصلاح‌شده: ۱۴۰۱/۰۹/۱۶

پذیرش علمی: ۱۴۰۱/۰۹/۲۹

کلیدواژه‌ها:

هیبرید آلی - معدنی دوبعدی،
خاصیت نورزایی،
لایه نازک طلا و پلاتین،
دمای پایین

چکیده در این مقاله، ساختارهای هیبریدی آلی - معدنی دوبعدی با فرمول‌های عمومی $(BA)_2PbI_4$ و $(PEA)_2PbI_4$ به‌منزله ماده نورزا بررسی شده است. خاصیت نورزایی و میزان تقویت نورزایی این ساختارهای آلی - معدنی با پوشش‌دهی و بدون پوشش‌دهی توسط لایه‌های نازکی از طلا و پلاتین با ضخامت ۲۰ نانومتر، تحت دماهای گوناگون، از دمای اتاق تا دمای حدود ۱۰۶ درجه کلونین، با تحریک توسط منبع نوری با طول موج تقریباً برابر ۴۰۰ نانومتر بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد که برای ساختار $(BA)_2PbI_4$ در دمای ۱۲۰ کلونین، می‌توان به تقویت ۱۲/۹ برابر نورزایی در دمای اتاق و برای ساختار $(PEA)_2PbI_4$ پوشش‌دهی شده با لایه نازک پلاتین به ضخامت ۲۰ نانومتر، در دمای ۱۷۳ کلونین، به تقویت نورزایی ۱۲/۲ برابر نورزایی در دمای اتاق دست یافت. این نتایج نشان می‌دهد که ساختارهای هیبریدی آلی - معدنی دوبعدی (مخصوصاً ساختارهای $(BA)_2PbI_4$ و $(PEA)_2PbI_4$) برای طراحی ادوات اپتوالکترونیک جدید مفید هستند.



<https://doi.org/10.30501/jamt.2023.364404.1247> URL: https://www.jamt.ir/article_169645.html

۱- مقدمه

مقید درمی‌آورد. هیبریدهای آلی - معدنی با ساختار لایه‌ای دارای فرمول عمومی $(C_nH_{2n+1}NH_3)_2(CH_3NH_3)_{m-1} M_mX_{3m+1}$ هستند به‌طوری که M بیانگر فلزات دوظرفیتی جدول تناوبی مانند Cu^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Pd^{2+} , Cd^{2+} , Ge^{2+} , Sn^{2+} , Pb^{2+} و Eu^{2+} است و X از عناصر هالوژنی است. به‌دلیل وجود این ساختار لایه‌ای آلی - معدنی با انرژی بستگی اکسایشی بالا، این مواد خواص فوتولومینسانس بالایی حتی در دمای اتاق از خود نشان می‌دهند. همین امر باعث شده تا این مواد کاندیدای مناسبی برای استفاده در ادوات اپتوالکترونیک گوناگون مانند دیویدهای نورگسیل باشند [۴-۲]. مواد هیبریدی آلی - معدنی خصوصیات مفید مواد آلی و مواد معدنی را در یک مقیاس مولکولی ادغام

اولین بار، ساختار دوبعدی از لایه‌های معدنی احاطه شده توسط مولکول‌های آلی با انرژی گاف بالا و ثابت دی‌الکتریک پایین، به‌منظور افزایش انرژی پیوند اکسایشی، توسط هانامورا^۱ و همکارانش در سال ۱۹۸۸ معرفی شد [۱]. در این ساختار، صفحات نیم‌رسانای معدنی، چاه‌های کوانتومی را به وجود می‌آورند و لایه‌های آلی به‌منزله سد پتانسیل عمل می‌کنند. ثابت دی‌الکتریک پایین‌تر مولکول‌های آلی به کاهش اثر پوششی سطحی حاملان بار در این لایه‌ها منجر می‌شود. در نتیجه، برهم‌کنش کولنی جفت الکترون - حفره را به صورت اکسایشی

^۱ Hanamura

*عهده دار مکاتبات: صغری میرارشادی

نشانی: ایران، اردبیل، نمین، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده فناوری‌های نوین، گروه علوم مهندسی، تلفن: ۰۴۵-۳۱۵۰۵۱۹۶، دورنگار: -

پیام‌نگار: s.mirershadi@uma.ac.ir

تقویت‌های نورزایی بسیار چشمگیر تا حدود ۱۳ برابر دست یافته‌ایم.

۲- روش تحقیق

در مرحله نخست، ساختارهای هیبریدی آلی- معدنی دوبعدی $(PEA)_2PbI_4$, $(BA)_2PbI_4$ ، که کاتیون آلی بوتیل آمین $BA = CH_3(CH_2)_3NH_2$ و کاتیون آلی فنتیل آمین $PEA = C_6H_5(CH_2)_2NH_2$ در آن‌ها نشان داده شده، به روش شیمیایی خودسامان‌ده سنتز شدند [۱۱]. به‌منظور مشخصه‌یابی ساختارهای هیبریدی ساخته‌شده و همچنین بررسی خواص ساختار بلوری از روش پراش پرتو ایکس^۲ (XRD) توسط دستگاه پراش پرتو ایکس با مدل MPD 3000 (شرکت (GNA) (itat structures) استفاده شد. همچنین، برای بررسی رفتار نوری هیبریدهای آلی- معدنی، تجهیزات و روش‌های گوناگونی مانند طیف‌سنجی جذب نوری فرابنفش مرئی (UV-Vis) و طیف بازتابی توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر SCINCO مدل S-4100 به کار گرفته شد. میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد استفاده در این پژوهش به مدل MIRA3 FEG-SEM (شرکت Tescan) تعلق دارد و برای تجزیه و تحلیل ساختاری نمونه بوده است.

در ادامه، به‌منظور ساخت لایه‌های نازکی از مواد هیبریدی آلی- معدنی دوبعدی نورزای مورد مطالعه در پژوهش، مقداری از پودرهای سنتز شده این مواد در حلال دی‌متیل سولفواکساید حل و روی تعدادی لام ریخته شد. سپس، این لام‌ها به مدت حدود ۲۰ ساعت در دمای حدود ۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند تا با تبخیر حلال، لایه‌های نازکی از آن‌ها بر روی لام‌های شیشه‌ای ایجاد شود. در ادامه، به روش اسپاترینگ لایه‌هایی از جنس طلا و پلاتین، با ضخامت ۲۰ نانومتر، بر روی لایه‌های نازک مواد هیبریدی آلی- معدنی دوبعدی نورزای مورد مطالعه در این پژوهش ایجاد شد.

برای بررسی فوتولومینسانس^۳ در دمای پایین، از چیدمان تجربی شامل دستگاه اسپکتروفوتومتر^۴ فیبر نوری مدل Aurora 4000 متصل به کامپیوتری مجهز به نرم‌افزار Spectral Analysis برای به دست آوردن و بررسی داده‌ها و همچنین کامپیوتر مجهز

می‌کنند. خواص نوری و الکترونیکی خاصی برای این دسته از مواد مشاهده شده است. مواد معدنی پتانسیل طیف وسیعی از خواص الکترونیکی همچون توانایی طراحی عایق‌ها، نیمه‌هادی‌ها و فلزات، انتقالات دی‌الکتریکی و مغناطیسی، سختی مکانیکی قابل توجه و پایداری حرارتی را ارائه می‌دهند. از سوی دیگر، مولکول‌های آلی می‌توانند بازده فلورسانس بالا، قطبش‌پذیری زیاد، سهولت پردازش و تنوع ساختاری را نشان دهند [۵ و ۶]. همچنین، نانوذرات فلزی از جمله نانوذرات طلا و نقره دارای خواص زیادی مانند خواص ویژه نوری و الکتریکی و مغناطیسی هستند که، از میان این خواص ویژه، خاصیت نوری آن‌ها بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. خواص نوری نانوذرات فلزی بر اثر پدیده تشدید پلاسمونیک سطحی حاصل می‌شود [۷]. تشدید پلاسمونیک سطحی، مخصوصاً برای فلزات نجیبی چون طلا و نقره که فرکانس تشدید آن‌ها در محدوده نور مرئی است، اهمیت می‌یابد. زمانی که نور به سطوح فلزی با اندازه ذرات گوناگون برخورد می‌کند، امواج نور قسمتی از انرژی خود را به الکترون‌های سطحی می‌دهند و باعث ارتعاش آن‌ها می‌شوند. در نانوذرات، پلاسمون سطحی در فضای کوچکی قرار می‌گیرد، به طوری که الکترون‌ها در این فضای محدود به سمت عقب و جلو نوسان می‌کنند. این اثر، رزونانس پلاسمون سطحی موضعی^۱ (LSPR) نامیده شده است. هنگامی که فرکانس این نوسانات با فرکانس نور حاصل‌کننده پلاسمون یکسان باشد، پلاسمون در رزونانس با نور برخوردی است. در این صورت، گفته می‌شود که تشدید پلاسمونیک سطحی رخ داده است. انرژی LSPR به عملکرد دی‌الکتریک ماده و محیط اطراف، شکل و اندازه نانوذرات و همچنین به تغییر فاصله بین نانوذرات حساس است. همچنین، یکی از نتایج اثر LSPR در نانوذرات فلزی قابلیت جذب بسیار عالی امواج مرئی به دلیل نوسانات منسجم پلاسمون‌ها است [۸-۱۰].

در این پژوهش، خواص ساختاری و نوری هیبریدهای آلی- معدنی دوبعدی مطالعه شده و میزان تقویت نورزایی این ساختارها با پوشش‌دهی توسط لایه‌های نازک طلا و پلاتین، در دماهای اتاق تا دماهای بسیار پایین‌تر بررسی شده است و به

³ Photoluminescence

⁴ Spectrophotometer

¹ Localized Surface Plasmon Resonance (LSPR)

² X-Ray Diffraction (XRD)

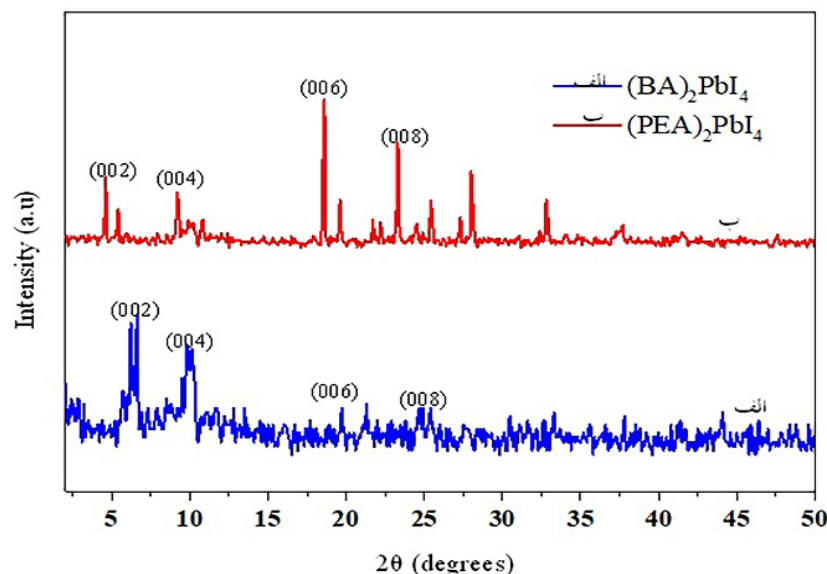
طیف جذب ساختارهای سنتز شده در شکل ۲ آورده شده است. این طیف‌ها در دمای اتاق به دست آمده‌اند. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، آغاز جذب از طول موج ۴۵۶ نانومتر برای ساختارهای دوبعدی $(BA)_2PbI_4$ به وجود آمده است. همچنین، آغاز جذب از طول موج ۵۷۵ نانومتر برای ساختارهای دوبعدی $(PEA)_2PbI_4$ مشاهده شده است. این تفاوت در آغاز طول موج جذب می‌تواند بیانگر تفاوت گاف انرژی در ساختارهای سنتز شده باشد که به دلیل تغییر ماده آلی در ساختار دوبعدی هیبریدی آلی - معدنی است.

برای تعیین گاف انرژی، با استفاده از تئوری موت و داویس (Mott and Davis) [۱۳]، منحنی تغییرات $(\alpha hv)^2$ برحسب انرژی فوتون فرودی (hv) رسم شده است (شکل ۳). با رسم خط مماس بر نمودار در ناحیه خطی، گاف انرژی برای ساختارهای هیبریدی دوبعدی سنتز شده تعیین شده است. همان‌گونه که شکل ۳ نشان می‌دهد، گاف انرژی به ترتیب در حدود $۲/۸۴$ و $۳/۰۶$ الکترون ولت برای ساختار هیبریدی دوبعدی $(BA)_2PbI_4$ و $(PEA)_2PbI_4$ بوده است. نتایج نشان می‌دهد که، با تغییر ماده آلی در این ساختارها، گاف انرژی کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، با تغییر ماده آلی می‌توان گاف انرژی چنین ساختارهایی را کنترل کرد. از آنجایی که یکی از اهداف مهم صنایع اپتیکی و الکترواپتیکی دسترسی به مواد پیشرفته با گاف انرژی تنظیم‌پذیر است، این ساختارها می‌توانند نویدبخش پیشرفت این صنایع باشند.

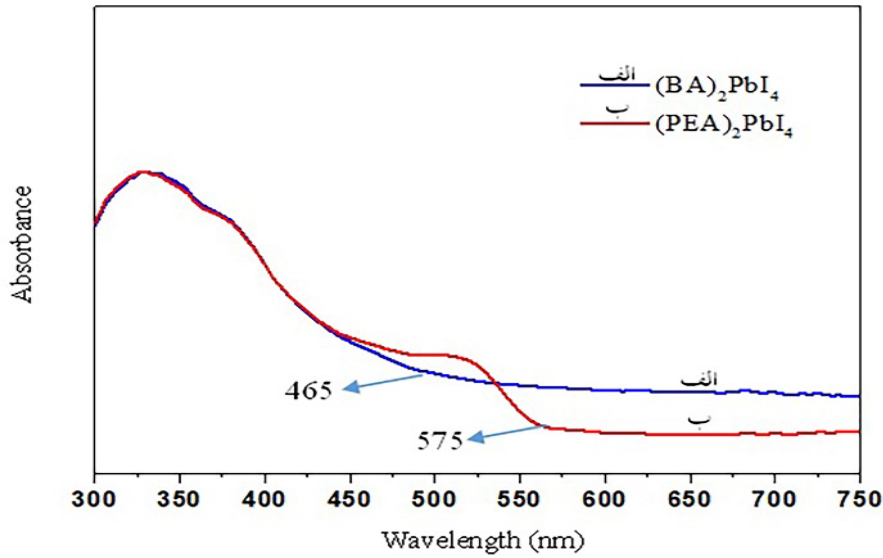
به نرم‌افزار اندازه‌گیری دما و یک جعبه عایق مخصوص برای نگهداری نیتروژن مایع و رسیدن به دماهای بسیار پایین و منبع نوری با طول موج ۴۰۰ نانومتر به منظور تحریک نمونه‌ها استفاده شده است. ابتدا طیف حاصله از نمونه‌ها در دمای اتاق گرفته شد و سپس، با خنک‌سازی محیط اطراف نمونه، با استفاده از ریختن نیتروژن مایع در ظرف عایق مخصوص، که نمونه مورد مطالعه نیز نزدیک به فیبر نوری دستگاه اسپکتروفوتومتر و همچنین داخل ظرف عایق قرار داشت، و اندازه‌گیری دمای حاصله با سنسور مخصوص، دمای نزدیک نمونه و متصل شده به کامپیوتر مجهز به نرم‌افزار اندازه‌گیری دما بررسی و مطالعه شد.

۳- نتایج و بحث

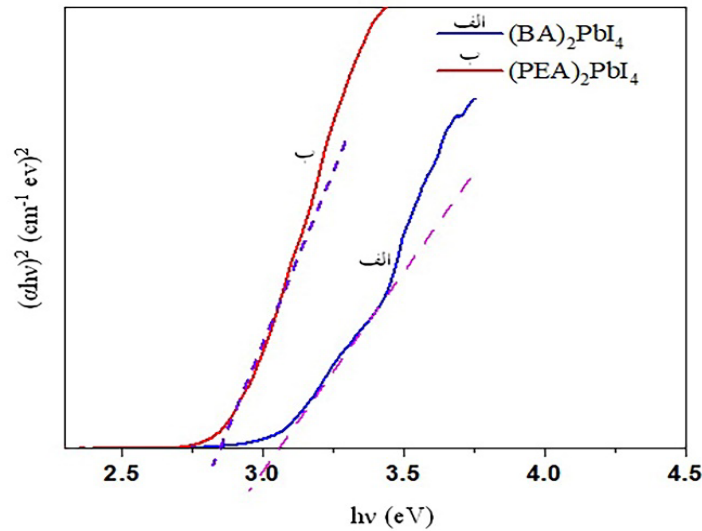
شکل ۱ طیف‌های XRD نمونه‌ها را نشان می‌دهد. تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد که قله‌های ظاهر شده در طیف‌ها مربوط به ساختارهای دوبعدی سنتز شده است و با نتایج گزارش شده در مقالات معتبر هماهنگی دارد [۱۲]. به طور خلاصه، قله‌های ظاهر شده در زوایای $۶/۳$ ، $۱۲/۸$ ، $۱۹/۳$ ، $۲۵/۹$ و $۳۲/۵$ به ترتیب مربوط به صفحات میلر با شاخص‌های $\langle ۰۰۲ \rangle$ ، $\langle ۰۰۴ \rangle$ ، $\langle ۰۰۶ \rangle$ ، $\langle ۰۰۸ \rangle$ و $\langle ۰۰۱۰ \rangle$ برای ساختارهای هیبریدی دوبعدی و ساختارهای سنتز شده دارای جهت‌گیری $\langle ۰۰۱ \rangle$ بودند و در ساختارهای سنتز شده دیده شدند. این جدایی بین صفحات می‌تواند به دلیل حضور کاتیون بزرگ‌تر یا گروه آلکیلی بلندتر در بخش آلی باشد.



شکل ۱. طیف XRD ساختارهای هیبریدی دوبعدی الف) $(BA)_2PbI_4$ و ب) $(PEA)_2PbI_4$



شکل ۲. طیف جذب ساختارهای هیبریدی دوبعدی الف) $(BA)_2PbI_4$ ، ب) $(PEA)_2PbI_4$



شکل ۳. منحنی تغییرات $(\alpha hv)^2$ برحسب انرژی فوتون فرودی (hv) در ساختارهای هیبریدی دوبعدی الف) $(BA)_2PbI_4$ و ب) $(PEA)_2PbI_4$

شده است.

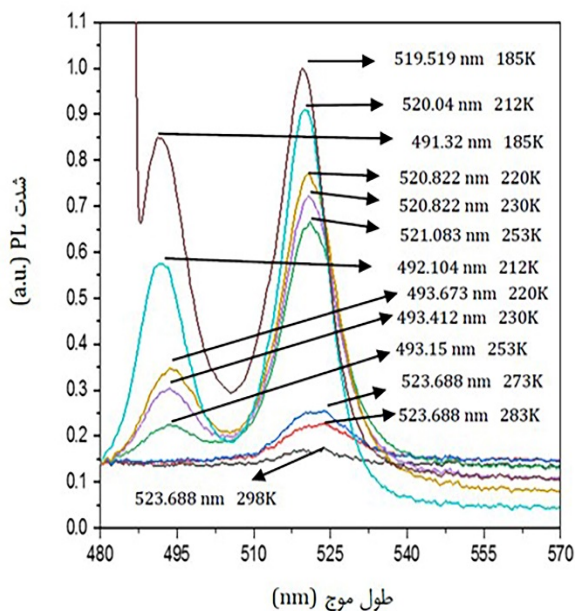
نمودارهای شدت نورزایی برحسب طول موج، برای نمونه‌های بدون پوشش‌دهی و پوشش‌دهی شده توسط لایه‌های نازک طلا و پلاتین به ضخامت ۲۰ نانومتر، تحت دماهای مختلف از دمای اتاق تا دماهای بسیار پایین‌تر، با تحریک توسط منبع نوری‌ای با طول موج حدود ۴۰۰ نانومتر آورده شده است.

در شکل ۵، نمودار شدت نورزایی برحسب طول موج برای ساختار $(BA)_2PbI_4$ ، از دمای ۲۹۸ کلوین تا دمای ۱۲۰ کلوین، نشان داده شده است. میزان نورزایی در دمای ۱۲۰ کلوین، به افزایش قابل توجه ۱۲/۹ برابری، در مقایسه با نورزایی در دمای اتاق، به دست آمده است.

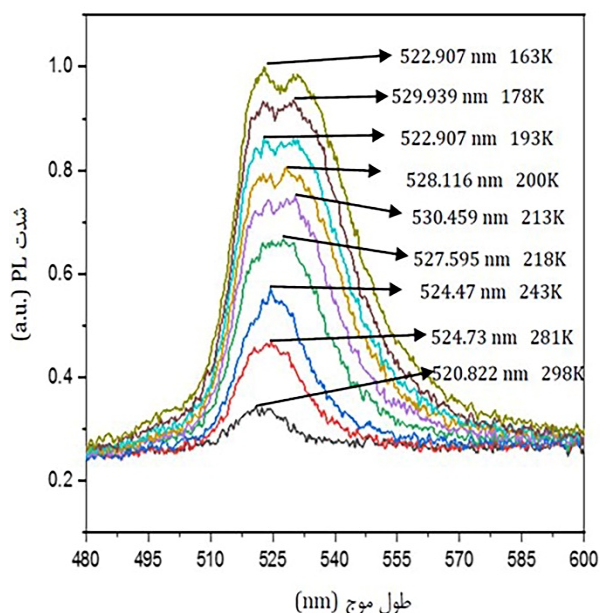
تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی مربوط به ساختار هیبریدی دوبعدی $(BA)_2PbI_4$ در شکل ۴ نشان داده شده است. همان‌گونه که این تصویر نشان می‌دهد و با استفاده از نرم‌افزارهای تحلیل آماری توزیع، اندازه ذرات تقریباً یکنواخت و در حدود ۱۵ نانومتر بود.

در ادامه، به بررسی اثر کاهش دما بر خاصیت نورزایی لایه‌های نازکی از ساختارهای هیبریدی آلی- معدنی دوبعدی $(BA)_2PbI_4$ و $(PEA)_2PbI_4$ (که کاتیون آلی بوتیل آمین $BA=CH_3(CH_2)_3NH_2$ و کاتیون آلی فنتیل آمین $PEA=C_8H_{11}N$ در آن‌ها وجود دارد)، بدون پوشش‌دهی و با پوشش‌دهی توسط لایه‌های نازکی از طلا و پلاتین به ضخامت ۲۰ نانومتر پرداخته

کلوین)، دو قله نورزایی مشاهده شده است. شدت نورزایی در دمای ۱۸۵ کلوین، در مقایسه با دمای اتاق، برای طیف اول، ۴/۸ برابر و، برای طیف دوم، ۵/۶۹ برابر به دست آمده است.

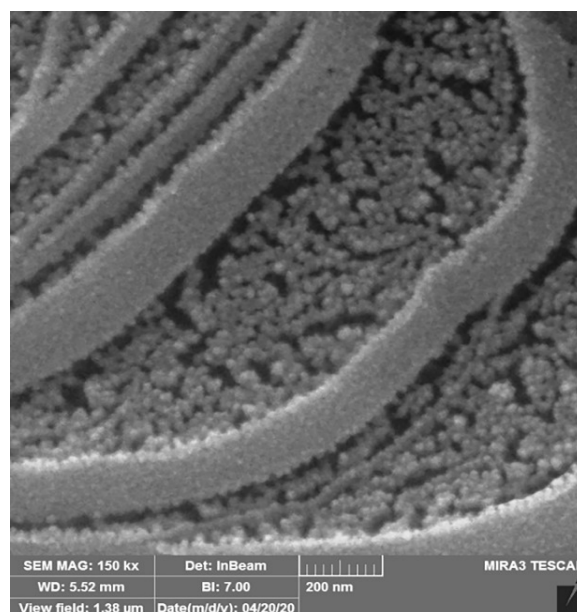


شکل ۶. نمودار شدت نورزایی برحسب طول موج، از دمای اتاق تا دمای ۱۸۵ کلوین، برای نمونه $(BA)_2PbI_4$ پوشش‌دهی شده توسط لایه نازک پلاتین به ضخامت ۲۰ نانومتر

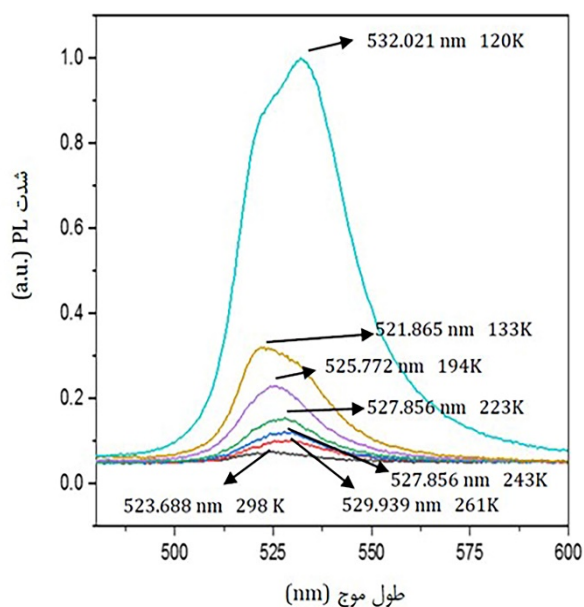


شکل ۷. نمودار شدت نورزایی برحسب طول موج، از دمای اتاق تا دمای ۱۶۳ کلوین، برای نمونه $(BA)_2PbI_4$ پوشش‌دهی شده توسط لایه نازک طلا به ضخامت ۲۰ نانومتر

در شکل ۷، نمودار شدت نورزایی برحسب طول موج

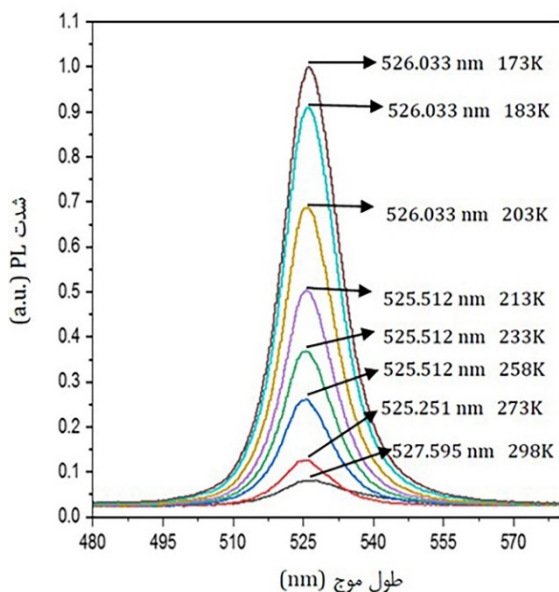


شکل ۴. تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی مربوط به ساختار هیبریدی دوبعدی $(BA)_2PbI_4$

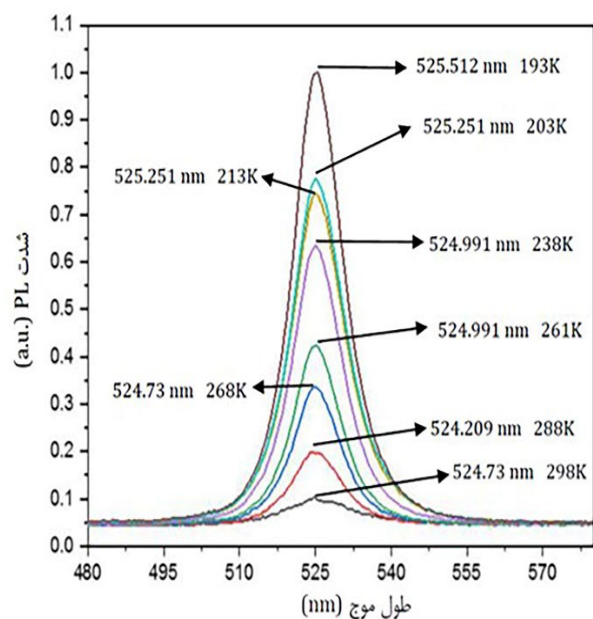


شکل ۵. نمودار شدت نورزایی برحسب طول موج از دمای اتاق (۲۹۸ کلوین) تا دمای ۱۲۰ کلوین برای نمونه حاوی لایه نازک ساختار لایه‌ای آلی - معدنی دوبعدی $(BA)_2PbI_4$

در شکل ۶، نمودار شدت نورزایی برحسب طول موج از دمای اتاق تا دمای ۱۸۵ کلوین، برای نمونه $(BA)_2PbI_4$ پوشش‌دهی شده با لایه نازکی از پلاتین به ضخامت ۲۰ نانومتر، آورده شده است. در دماهای اتاق (۲۹۸ کلوین)، ۲۸۳ کلوین و ۲۷۳ کلوین، یک قله نورزایی مشاهده شده و، در دماهای پایین‌تر از آن (۲۵۳ کلوین، ۲۳۰ کلوین، ۲۲۰ کلوین، ۲۱۲ کلوین و ۱۸۵



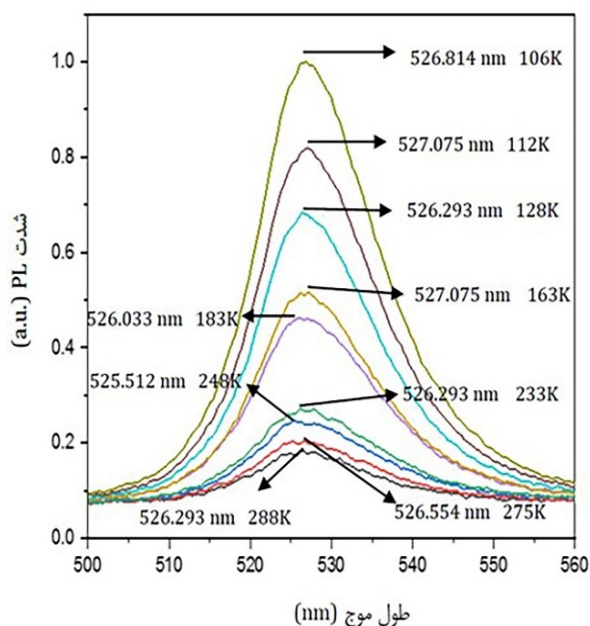
شکل ۹. نمودار شدت نورزایی برحسب طول موج، از دمای اتاق تا دمای ۱۷۳ کلوین، برای نمونه $(PEA)_2PbI_4$ پوشش‌دهی شده با لایه نازک پلاتین به ضخامت ۲۰ نانومتر



شکل ۱۰. نمودار شدت نورزایی برحسب طول موج، از دمای اتاق تا دمای ۱۹۳ کلوین، برای نمونه $(PEA)_2PbI_4$ پوشش‌دهی شده با لایه نازک طلا به ضخامت ۲۰ نانومتر

بنابراین، میزان تقویت نورزایی مواد هیبریدی آلی - معدنی دوبعدی $(BA)_2PbI_4$ و $(PEA)_2PbI_4$ بدون پوشش‌دهی و با پوشش‌دهی توسط لایه‌های نازک طلا و پلاتین، با کاهش دما، از دمای اتاق تا دماهای بسیار پایین‌تر، بررسی شده است. با توجه به نتایج حاصله و بررسی تمامی نمونه‌های

برای لایه نازکی از ساختار $(BA)_2PbI_4$ پوشش‌دهی شده با لایه نازکی از طلا به ضخامت ۲۰ نانومتر، از دمای اتاق تا دمای ۱۶۳ کلوین، نشان داده شده است. شدت نورزایی در دمای ۱۶۳ کلوین، در مقایسه با دمای اتاق، $2/9$ برابر به دست آمده است. در شکل ۸، نمودار شدت نورزایی برحسب طول موج، از دمای ۲۸۸ تا دمای ۱۰۶ کلوین، برای نمونه $(PEA)_2PbI_4$ نشان داده شده است. با کاهش دما تا دمای ۱۰۶ کلوین، میزان افزایش نورزایی به مقدار $5/4$ برابر رسیده است.



شکل ۸. نمودار شدت نورزایی برحسب طول موج، از دمای ۲۸۸ کلوین تا دمای ۱۰۶ کلوین، برای نمونه حاوی لایه نازک ساختار لایه‌ای آلی - معدنی دوبعدی $(PEA)_2PbI_4$

در شکل ۹، نمودار شدت نورزایی برحسب طول موج برای نمونه $(PEA)_2PbI_4$ پوشش‌دهی شده با لایه نازک پلاتین به ضخامت ۲۰ نانومتر، از دمای اتاق تا دمای ۱۷۳ کلوین، نشان داده شده است. با کاهش دما از دمای اتاق تا دمای ۱۷۳ کلوین، میزان افزایش نورزایی به مقدار قابل توجه $12/2$ برابر رسیده است.

در شکل ۱۰، نمودار شدت نورزایی برحسب طول موج، از دمای اتاق تا دمای ۱۹۳ کلوین، برای نمونه $(PEA)_2PbI_4$ پوشش‌دهی شده با لایه نازک طلا به ضخامت ۲۰ نانومتر نشان داده شده است. میزان افزایش نورزایی در دمای ۱۹۳ کلوین، در مقایسه با دمای اتاق، به مقدار قابل توجه $9/6$ برابر رسیده است.

انرژی جفت‌شدگی تشدید^۱ به شکل تابشی در فضای آزاد منتشر خواهد شد. در مقابل، انرژی جفت‌شدگی تشدید با جذب نانوذره فلزی پراکنده می‌شود و به کاهش شدت نورزایی منجر می‌شود [۱۵].

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، نورزایی مواد هیبریدی آلی- معدنی دوبعدی $(BA)_2PbI_4$ و $(PEA)_2PbI_4$ با پوشش‌دهی و بدون پوشش‌دهی توسط لایه‌های نازکی از طلا و پلاتین به ضخامت ۲۰ نانومتر، از دمای اتاق تا دماهای بسیار پایین‌تر، بررسی شده است و مشاهده شد که، در هر دو ساختار، بیشترین میزان تقویت نورزایی، در دمای پایین و با پوشش‌دهی توسط لایه نازک پلاتین به ضخامت ۲۰ نانومتر حاصل شده است.

۵- سپاسگزاری

در این‌جا، بر خود لازم می‌دانیم از حمایت‌های مادی و معنوی دانشگاه محقق اردبیلی نهایت قدردانی را داشته باشیم.

مراجع

- Safarzadeh, Z., Abdollahzadeh, F., Mirershadi, S., Sattari, F., "Study of band gap in 2D and 3D organic-inorganic hybrids", *The 14th Condensed Matter Conference of Iranian Physics Society*, Sahid Chamran University, (2017), 408-411. <https://www.psi.ir/upload/1397/cmc14/pages/proceedings/P66.pdf>
- Hanamura, E., Nagaoka N., Kumagai, M., Takagahara, T., "Quantum wells with enhanced exciton effects and optical non-linearity", *Journal of Materials Science Engineering: B*, Vol. 1, No. 3-4, (1988), 255-258. [https://doi.org/10.1016/0921-5107\(88\)90006-2](https://doi.org/10.1016/0921-5107(88)90006-2)
- Ishihara, T., Takahashi, J., Goto, T., "Optical properties due to electronic transitions in two-dimensional semiconductors $(C_n H_{2n+1} NH_3)_2PbI_4$ ", *Physical Review B*, Vol. 42, No. 17, (1990), 11099-11107. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.42.11099>
- Zehtabchi, I., Ghayour, H., Zendejdel, M., "Optimization of parameters from perovskite solar cells by ZnO aligned nanorods", *Journal of Advanced Materials and Technologies (JAMT)*, Vol. 4, No. 3, (2015), 53-64. <https://doi.org/10.30501/jamt.2637.70308>
- Peng, B., Li, L., Li, Q., Loh, K. P., Li, Y., "Spin-valley locking effect in defect states of monolayer MoS_2 ", *RSC Advances*, Vol. 30, (2017), 2129-2136. <https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.0c00138>
- Shekari, M. R., Sadeghzadeh, S. M., Golriz, M., "Study of long-term stability of perovskite solar cells: Highly stable carbon-based versus unstable gold-based PSCs", *Journal of Renewable Energy and Environment (JREE)*, Vol. 8, No. 2, (2021), 61-73. <https://doi.org/10.30501/jree.2021.240562.1132>
- Cao, G., *Nanostructures and Nanomaterials: Synthesis, Properties and Applications*, Imperial College Press, London, (2004). <https://www.amazon.com/Nanostructures-Nanomaterials-Synthesis-Properties-Applications/dp/1860944809>

مورد مطالعه در دمای ۱۹۳ کلوین، مشاهده شده است که میزان تقویت نورزایی برای ساختارهای $(PEA)_2PbI_4$ پوشش‌دهی شده توسط لایه نازک پلاتین، ساختار $(PEA)_2PbI_4$ پوشش‌دهی شده توسط لایه نازک طلا، ساختار $(BA)_2PbI_4$ پوشش‌دهی شده با لایه نازک پلاتین (قله نورزایی دوم و سپس قله نورزایی اول)، ساختار $(PEA)_2PbI_4$ بدون پوشش، ساختار $(BA)_2PbI_4$ بدون پوشش، ساختار $(BA)_2PbI_4$ پوشش‌دهی شده با لایه نازک طلا به ترتیب از بیشتر به کمتر به دست آمده است. در این کار، همچنین، با پایین آوردن دما تا دمای ۱۷۳ کلوین برای نمونه $(PEA)_2PbI_4$ پوشش‌دهی شده توسط لایه نازک پلاتین، به تقویت نورزایی چشمگیر ۱۲/۲ برابر نورزایی در دمای اتاق و، با کاهش دما تا دمای ۱۲۰ کلوین برای نمونه $(BA)_2PbI_4$ ، به تقویت نورزایی چشمگیر ۱۲/۹ برابر دست یافته‌ایم. دستیابی به بهبود لومینسانس هیبریدهای آلی- معدنی دوبعدی توسط تطبیق انرژی پلاسماهای سطحی موضعی نانوذرات طلا و پلاتین و مطابق با انرژی شکاف نواری مواد پروسکایتی بسیار بااهمیت است و فرکانس رزونانس پلاسماونی با شکل ماده، اندازه، جزء و محیط نانوذرات ارتباط دارد [۱۴]. در نتیجه، استفاده بهینه از این عوامل برای به حداکثر رساندن LSPR (رزونانس پلاسماون سطحی موضعی) بسیار مهم است. به‌طور کلی، با توجه به این‌که تشدید پلاسماون سطحی موضعی به‌وسیله پراکندگی و جذب نور توسط نانوذره فلزی اتفاق می‌افتد، فرکانس تشدید پلاسماون به نانوذره فلزی تعبیه‌شده در مواد با دی‌الکتریک گوناگون بستگی دارد. برای توضیح اثر تشدید پلاسماون سطحی موضعی بر افزایش لومینسانس، سطح مقاطع جذب و پراکندگی توسط نانوذره طلا و پلاتین احاطه‌شده توسط فیلم هیبریدی آلی- معدنی از پارامترهای مهم هستند. هنگامی‌که نانوذره فلزی توسط نور انتشاری که با شرایط رزونانس پلاسماون سطحی موضعی اشباع شده است تحریک می‌شود، به‌شدت پراکنده و جذب خواهد شد. این امر به افزایش بهره خاموشی نور منجر می‌شود. هرچه اندازه نانوذره فلزی افزایش یابد، اثر پراکندگی بر نور انتشاری قوی‌تر از اثر جذب می‌شود. همچنین، سطح مقطع پراکندگی مربوط به افزایش میدان الکتریکی سطحی است. علاوه بر این، هنگامی‌که اثر پراکندگی نانوذره فلزی غالب می‌شود،

¹ Resonant Coupling

12. Mirershad, S., Sattari, F., "Effect of organic cation composition and halogen atom type on 2D layered organic-inorganic hybrids for luminescent solar concentrator", *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, Vol. 32, (2021), 12939-12950. <https://doi.org/10.1007/s10854-020-04899-y>
13. Mott, N. F., Davis, E. A., *Electronic Processes in Non-Crystalline Materials*, Clarendon Press, Oxford, (1979).
14. Kelly, K. L., Coronado, L., Zhao, L., Schatz, G. C., "The optical properties of metal nanoparticles: The influence of size, shape, and dielectric environment", *The Journal of Physical Chemistry B*, Vol. 107, No. 3, (2003), 668-677. <https://doi.org/10.1021/jp026731y>
15. Zhang, Y., Sun, H., Zhang, S., Li, S., Wang, X., Zhang, X., Liu, T., Guo, Z., "Enhancing luminescence in all-inorganic perovskite surface plasmon light-emitting diode by incorporating Au-Ag alloy nanoparticle", *Optical Materials*, Vol. 89, (2019) 563-567. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2019.01.074>
8. Omelyanovich, M., Makarov, S., Milichko, V., Simovski, C., "Enhancement of perovskite solar cells by plasmonic nanoparticles", *Materials Sciences and Applications*, Vol. 7, (2016), 836-847. <http://dx.doi.org/10.4236/msa.2016.712064>
9. Jain, P. K., Huang, X., El-Sayed, I. H., El-Sayed, M. A., "Review of some interesting surface plasmon resonance-enhanced properties of noble metal nanoparticles and their applications to biosystems", *Plasmonics*, Vol. 2, (2007), 107-118. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11468-007-9031-1>
10. Pal, A. K., Mohan, D. B., "Multi-angle ZnO microstructures grown on Ag nanorods array for plasmon-enhanced near-UV-blue light emitter", *Nanotechnology*, Vol. 28, (2017), 415707. <https://doi.org/10.1088/1361-6528/aa7fb1>
11. Mitzi, D. B., Chondroudis, K., Kagan, C. R., "Organic-inorganic electronics", *IBM Journal of Research and Development*, Vol. 45, (2001), 29-33. <https://doi.org/10.1147/rd.451.0029>